

PACS: 82.80.Jp, 92.60.Sz

## МХИ - БИОИНДИКАТОРЫ ПРИ БИОМОНИТОРИНГЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Ш.А. Топчиева<sup>1</sup>, С.З. Салахова<sup>1</sup>, М.А. Мехрабова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт Зоологии, НАНА

<sup>2</sup>Институт Радиационных Проблем НАНА

[shafiga.topchiyeva@mail.ru](mailto:shafiga.topchiyeva@mail.ru)

**Резюме:** Целью настоящей работы явилась качественная и количественная оценка загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами для изучения регионального и локального загрязнения как атмосферного воздуха, так и почв, и вод исследуемой местности экозагрязнителями при биомониторинге загрязнения биосферы.

Нами были исследованы образцы мхов, почв (окрестности г. Мингечаур) и воды (река Куры, протекающая в данной местности) для выявления биоиндикаторных свойств мхов и для биоиндикации воздуха, почв и воды.

Концентрации тяжелых металлов определялись на приборе Agilent Technologies 7500 Series ICP-MS (7500cx) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС, США).

Выявлено содержание тяжелых металлов в образцах мхов, почв и воды, которые составили для образцов мхов в мг/кг: Cr (28.4390), Mn (509.2683), Fe (16487.8049), Cu (14.9927), Zn (26.0244), Cd (0.0438), Ba (163.8049) и Pb (5.0829); для почвенных образцов - Cr (14.1573), Mn (476.1797), Fe (12687.6404), Cu (11.1168), Zn (19.7977), Cd (0.0379), Ba (85.3258) и Pb (4.1685), а в образцах воды содержание тяжелых металлов находилось в пределах: - Cr (0.0179), Mn (1.487), Fe (0.461), Cu (0.645), Zn (<0.0001), Cd (0.00265), Ba (18.17) и Pb (<0.0001), соответственно.

**Ключевые слова:** Мхи, биоиндикаторы, загрязнение атмосферы, почва, вода, тяжелые металлы

### 1. Введение

В связи с глобальным и все возрастающим ростом антропогенной нагрузки на естественные экосистемы, встает вопрос разработки и оптимизации грамотного применения методов биоиндикации атмосферного воздуха. Для оценки степени загрязнения окружающей среды техногенными выбросами промышленных предприятий широко применяют методы фитоиндикации с использованием тест-объектов растений, характеризующихся повышенной чувствительностью к изменению факторов среды [1,2].

Мхи способны сравнительно тонко реагировать на изменения окружающей среды, благодаря не только особенностям анатомо-морфологической структуры, но и специфике их минерального обмена.

Мохообразные наименее изученная группа среди высших растений, несмотря на то, что мхи широко распространены и принимают участие в образовании растительного покрова лесных, болотных и степных экосистем.

Кроме того многие виды растений, насекомых, гидробионтов (рыбы, раки, планктонные организмы) и животных очень чувствительны к экологическим изменениям, происходящим в окружающей среде.

Мхи способны извлекать ионы различных элементов прямо из атмосферы, если этих элементов нет в субстрате. Это связано с тем, что мохообразные лишены покровных

тканей и влагу впитывают всей поверхностью тела, которая очень велика по отношению к объему. Поэтому, мхи служат великолепными индикаторами наличия или отсутствия различных элементов в атмосфере или субстрате. Наиболее перспективным является их использование при изучении загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами для индикации таких металлов, как Pb, Zn, Cd, Си, Fe, Ni. Различные виды мохообразных поглощают тяжелые металлы с различной интенсивностью. Существует обширная литература, отражающая аккумулятивные способности разных видов. В качестве индикаторов тяжелых металлов используют эпифитные бриофиты *Hurpitt revolutum*, *Distichium capillaceum*, *Orthotrichum fallax*. Широко применяются и эпигейные виды: *Dicranum scoparium*, *Pottia bryoides*, *Tortula inermis* (Brid.), *Hylocomium splendens* (Hedw.), *Pohlia nutans*, *Pleurozium schreberi*, *Funaria hygrometrica* и многие другие [3,4].

В литературных источниках приводятся данные, где анализируется уровень антиоксидантов (водорастворимых антиоксидантов, каротиноидов и антоцианов) в растениях в условиях загрязнения окружающей среды кадмием. Авторы подчеркивают чрезмерную фоновую концентрацию кадмия в образцах растений, собранных в Калининграде, и отмечают положительную корреляцию между концентрацией кадмия и интенсивностью движения. В ходе исследования была установлена отрицательная корреляция между содержанием Cd и антиоксидантным статусом растений и положительным содержанием антоцианина [5].

В качестве биоиндикаторов загрязнения наземных экосистем успешно используются мхи. Вследствие физиологических особенностей, они способны поглощать минеральные вещества как из воздушной среды, так и из гумусового слоя почвы. Поэтому мхи применяют для оценки атмосферного загрязнения, а также для тестирования состояния верхнего слоя почвенного покрова. Авторы определение элементного состава мхов выполняли методом рентгенофлуоресцентного анализа. Интенсивности аналитических линий Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Sr, Zr, Ba и Pb авторы измеряли на волновом рентгеновском спектрометре S4 Pioneer (Bruker, AXS). При этом рентгенофлуоресцентный метод анализа обеспечивал получение необходимых данных об элементном составе мхов. Анализ этих данных показал, что мхи являются информативными видами растений, свидетельствующими о состоянии окружающей среды [6].

Исходя из вышеизложенного целью настоящей работы явилась качественная и количественная оценка загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами для изучения регионального и локального загрязнения как атмосферного воздуха, так и почв, и вод исследуемой местности экозагрязнителями при биомониторинге загрязнения биосферы.

При экспериментальных исследованиях степени загрязненности биосферы экологическими загрязнителями, нами был применен мох в качестве биоиндикатора для биоиндикации воздуха.

## **2. Методы и результаты исследований**

Нами были проведены экспериментальные исследования и сбор образцов мхов, почв с окрестностей г. Мингечаура и образцов воды из реки Куры, протекающей в данной местности с целью для выявления биоиндикаторных свойств мхов и для биоиндикации воздуха, почв и воды.

Водную пробу (для анализа была взята проба воды в количестве 5 мл) окисляли 65% -ым раствором азотной кислоты ( $\text{HNO}_3$ ) с последующим пятикратным разбавлением. После разбавления пробы еще раз окисляли 2%  $\text{HNO}_3$ .

Во время анализа почвы (для анализа почвы взяты образцы в количестве 0,2225 г) и мха (для анализа мха взята проба в количестве 0,205 г) осуществлялся процесс подготовки проб, основой которого является предварительная варка проб в микроволновой печи фирмы MilestoneSTARTD (MicrowaveDigestionSystem) согласно процедуре DG - EN-45 «SoilandCrudeoil». Определенная часть образцов высушивалась в сушильной печи при температуре 35 - 40°C, с последующим измельчением и гомогенизированием проб. По методике DG-EN-45 «SoilandCrudeoil» образцы брались массой 0,2±0,25 г и добавлялись реагенты; 10 мл 65%  $\text{HNO}_3$ , 1мл 1%  $\text{HCl}$ , 1мл 30 %  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Для определения концентрации тяжелых металлов в образцах исследуемых проб были построены калибровочные кривые (рис.1.).

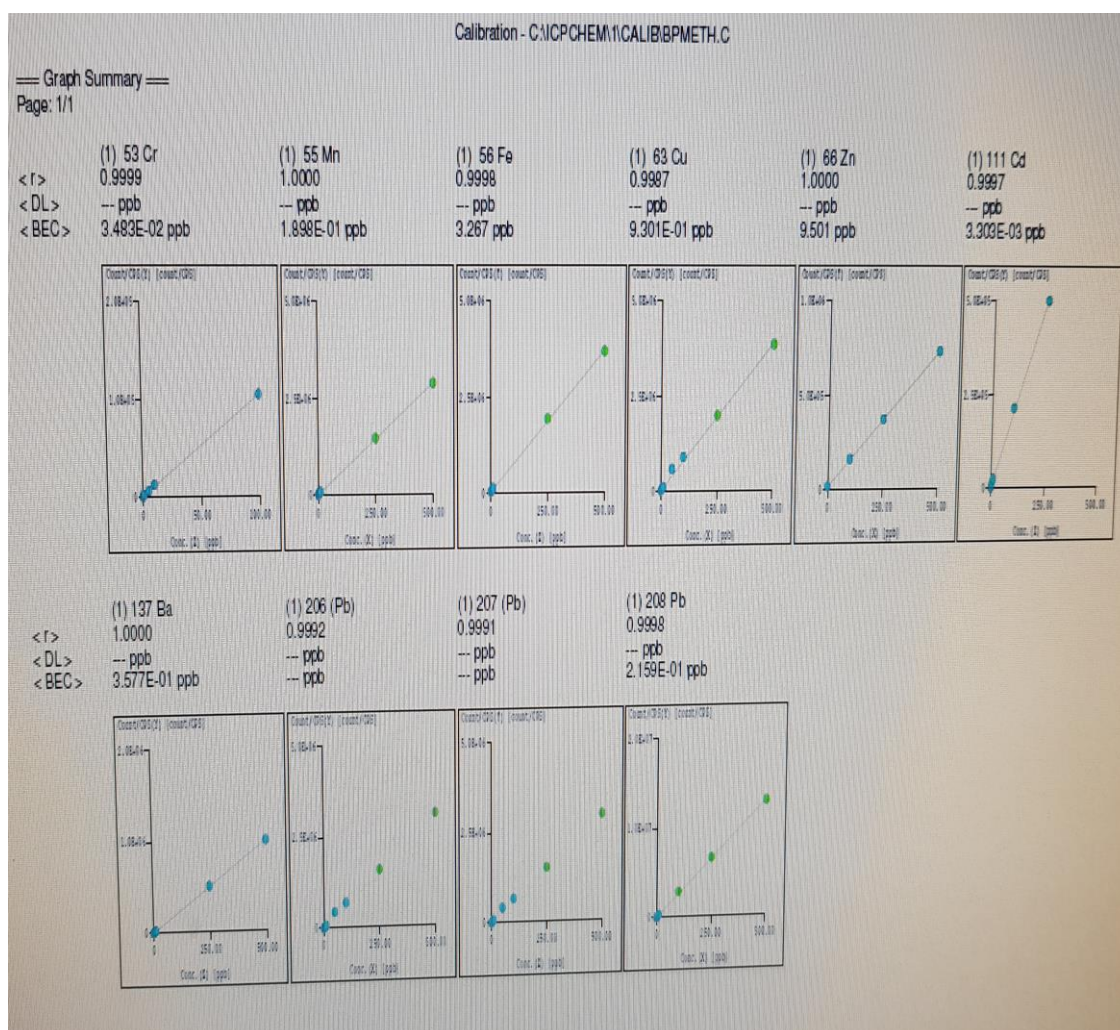


Рис.1. Калибровочные кривые стандартных образцов тяжелых металлов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой

Физические параметры процесса варки проб (температура, время и мощность) представлены в таблице 1 и 2. Концентрация тяжелых металлов определялась на приборе AgilentTechnologies 7500 SeriesICP-MS (7500сх) масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС, США).

Таблица 1. Физические параметры печи фирмы Milestone STARTD для DG - EN - 45 «Soil and Crude oil»

| Шаг | Время, мин. | Температура, °C | Мощность, до ватт |
|-----|-------------|-----------------|-------------------|
| 1   | 10          | 220             | 1000              |
| 2   | 20          | 220             | 1000              |

Таблица 2. Физические параметры печи фирмы Milestone STARTD для DG - EN - 45 «Crude oil»

| Шаг | Время, мин. | Температура, °C | Мощность, до ватт |
|-----|-------------|-----------------|-------------------|
| 1   | 5,5         | 175             | 1000              |
| 2   | 10          | 175             | 1000              |

Данные количественного определения ионов металлов в образцах мхов, почв и воды методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой представлены в таблицах 3,4,5.

Таблица 3. Количественные данные определения ионов металлов в образцах мха методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой

| Металлы | ppm (mg/kg) |
|---------|-------------|
| Cr      | 28,4390     |
| Mn      | 509,2683    |
| Fe      | 16487,8049  |
| Cu      | 14,9927     |
| Zn      | 26,0244     |
| Cd      | 0,0438      |
| Ba      | 163,8049    |
| Pb      | 5,0829      |

Величины пределов обнаружения тяжелых металлов в образцах мха составили, в мг/кг: Cr (28.4390), Mn (509.2683), Fe (16487.8049), Cu (14.9927), Zn (26.0244), Cd (0.0438), Ba (163.8049) и Pb (5.0829); в почвенных образцах - Cr (14.1573), Mn (476.1797), Fe (12687.6404), Cu (11.1168), Zn (19.7977), Cd (0.0379), Ba (85.3258) и Pb (4.1685), а в образцах воды - Cr (0.0179), Mn (1.487), Fe (0.461), Cu (0.645), Zn (<0.0001), Cd (0.00265), Ba (18.17) и Pb (<0.0001).

Таблица 4. Количественные данные определения ионов металлов в почвенных образцах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой

| Металлы | ppm (mg/kg) |
|---------|-------------|
| Cr      | 14.1573     |
| Mn      | 476.1797    |
| Fe      | 12687.6404  |
| Cu      | 11.1168     |
| Zn      | 19.7977     |
| Cd      | 0.0379      |
| Ba      | 85.3258     |
| Pb      | 4.1685      |

В исследованных образцах определение металлов в воде проведено в пределах ppb, а для почвы и мха в ppm. Для калибровки прибора использовались стандартные растворы Agilent Technologi.

Сравнивая максимальные концентрации тяжелых металлов в исследуемых образцах, мы можем предположить, что мхи подвержены антропогенному воздействию и могут быть применены в качестве эколоиндикаторов состояния степени загрязненности биосферы токсическими веществами.

Таблица 5. Количественные данные определения ионов металлов в образцах воды методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой

| Металлы | ppb     | %                     |
|---------|---------|-----------------------|
| Cr      | 0.0179  | $3.58 \cdot 10^{-7}$  |
| Mn      | 1.487   | $297.4 \cdot 10^{-5}$ |
| Fe      | 0.461   | $92.2 \cdot 10^{-6}$  |
| Cu      | 0.645   | $129 \cdot 10^{-5}$   |
| Zn      | <0.0001 | -                     |
| Cd      | 0.00265 | $0.53 \cdot 10^{-8}$  |
| Ba      | 18.17   | 3.634                 |
| Pb      | <0.0001 | -                     |

Таким образом, метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой обеспечил получение необходимых данных об элементном составе мхов. Анализ этих данных показал, что мхи являются информативными видами растений, свидетельствующими о состоянии окружающей среды.

### 3. Выводы

Выявлены пределы содержания тяжелых металлов в образцах мхов, почв и воды. Величины пределов обнаружения тяжелых металлов в образцах мхов, почв и воды дают ценную информацию для биомониторинга экобиосистемы.

Выявлено содержание тяжелых металлов в образцах мхов, почв и воды, которые составили, в мг/кг: Cr (28.4390), Mn (509.2683), Fe (16487.8049), Cu (14.9927), Zn (26.0244), Cd (0.0438), Ba (163.8049) и Pb (5.0829); в почвенных образцах - Cr (14.1573), Mn (476.1797), Fe (12687.6404), Cu (11.1168), Zn (19.7977), Cd (0.0379), Ba (85.3258) и Pb (4.1685), а в образцах воды - Cr (0.0179), Mn (1.487), Fe (0.461), Cu (0.645), Zn (<0.0001), Cd (0.00265), Ba (18.17) и Pb (<0.0001), соответственно.

Установлено наибольшее содержание тяжелых металлов, которые в ряду по убывающей соответствует для образцов мхов и почв: Fe>Mn>Ba>Zn>Cu>Pb>Cd, а для образцов воды: Ba>Mn>Cu>Fe>Cd>Zn>Pb.

### Литература

1. Harmens H. *et al.*, (2010) Mosses as Biomonitors of Atmospheric Heavy Metal Deposition: Spatial and Temporal Trends in Europe, *Environ Pollution*, 158 (10) 3144-3156.
2. Frontasyeva M. V. and Pavlov S.S. Analytical investigations at the IBR-2 reactor in Dubna. JINR, 2000, Preprint E14-2000-177, Dubna.
3. Пузыня Д. И. Мхи – индикаторы загрязнения / Д. И. Пузыня, А. Ф. Жукевич // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем: сб.

материалов 51-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». - Минск: БГУИР, 2015. – С. 148 - 149.

4. <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/11825>
5. Choupakhina G. N., Maslennikov P.V., Maltseva Y.Yu. et all. The antioxidant status of plants in the conditions of urban cadmium pollution. Vestnik IKBFU. 2011, Issue 7, p16-23.
6. Матяшенко Г.В., Чупарина Е.В., Финкельштейн А.Л. Использование рентгенофлуоресцентного анализа для биогеохимической характеристики изменений в растительном покрове Южного Прибайкалья.  
<https://docplayer.ru/58136556-Matyashenko-g-v-chuparina-e-v-finkelshteyn-a-l.html>

## YOSUNLAR HAVA ÇIRKLİLİYİNİN BIOMONİTORİNQİNDƏ BİOİNDİKATORLAR KİMİ

Ş.A. Topçuyeva, S.Z. Salahova, M.A. Mehrabova

**Xülasə:** Təqdim olunan işdə əsas məqsəd bioloji çirklənmənin biomonitorinqi zamanı tədqiq olunan ərazinin həm hava, torpaq, həm də sularının çirkləndiricilər tərəfindən regional və yerli çirklənməsini öyrənmək məqsədi ilə atmosfer havasının ağır metallarla çirklənməsinin keyfiyyət və kəmiyyət qiymətləndirilməsidir. Yosunun bioindikator xüsusiyyətləri və hava, torpaq və suyun bioindikasiyası üçün yosun, torpaq (Mingəçevir yaxınlığında) və su (ərazidə axan Kür çayı) nümunələri araşdırılıb. Ağır metal konsentrasiyaları induktiv bağlı plazma - kütlə spektrometriyasından (ICP-MS, ABŞ) istifadə edilərək AgilentTechnologies 7500 SeriesICP-MS (7500cx) cihazında müəyyən edilmişdir. Yosun, torpaq, su nümunələrinin tərkibində ağır metallar: 1mq/kg yosun nümunəsində: Cr (28,4390), Mn (509,2683), Fe (16487,8049), Cu (14,9927), Zn (26,0244), Cd (0,0438), Ba (163,8049) və Pb (5,0829); torpaq nümunələrində, Cr (14,1573), Mn (476,1797), Fe (12687,6404), Cu (11,1168), Zn (19,7977), Cd (0,0379), Ba (85,3258) və Pb (4,1685), və su nümunələrində: Cr (0,0179), Mn (1,487), Fe (0,461), Cu (0,645), Zn (<0,0001), Cd (0,00265), Ba (18,17) və Pb (<0.0001) ibarətdir

**Açar sözlər:** yosun, bioindikatorlar, hava çirklənməsi, torpaq, su, ağır metallar

## MOSSES AS BIOINDICATORS IN THE BIOMONITORING OF AIR POLLUTION

Sh.A. Topchieva, S.Z. Salakhova, M.A. Mehrabova

**Abstract:** The purpose of this work was a qualitative and quantitative assessment of atmospheric air pollution by heavy metals in order to study regional and local pollution of both air, soil and the waters of the studied area by environmental pollutants during biomonitoring of biosphere pollution.

We studied samples of moss, soil (near Mingechaur) and water (the Kura River flowing in the area) to identify the bioindicator properties of moss and for bioindication of air, soil and water.

The concentrations of heavy metals were determined on an AgilentTechnologies 7500 SeriesICP-MS (7500cx) instrument using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS, USA).

The content of heavy metals in samples of moss, soil and water, which amounted to samples of moss in mg/kg: Cr (28.4390), Mn (509.2683), Fe (16487.8049), Cu (14.9927), Zn (26.0244), Cd (0.0438), Ba (163.8049) and Pb (5.0829); for soil samples, Cr (14.1573), Mn (476.1797), Fe (12687.6404), Cu (11.1168), Zn (19.7977), Cd (0.0379), Ba (85.3258) and Pb (4.1685), and in water samples the content is heavy metals ranged from: - Cr (0.0179), Mn (1.487), Fe (0.461), Cu (0.645), Zn (<0.0001), Cd (0.00265), Ba (18.17) and Pb (<0.0001), respectively.

**Key words:** Mosses, bioindicators, air pollution, soil, water, heavy metals